

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

開發環境友善之生物污泥再利用及污染控制技術 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 99-2221-E-039-009-
執行期間：99年08月01日至100年07月31日
執行單位：中國醫藥大學健康風險管理學系

計畫主持人：江鴻龍

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：曾立軒
碩士班研究生-兼任助理人員：黃培修
碩士班研究生-兼任助理人員：卓冠宇

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 100 年 10 月 27 日

石化污泥熱解特性及衍生吸附劑應用之研究

摘要

生物處理程序為處理廢水時廣泛應用方法之一，處理過程中產生的生物污泥過去多以掩埋、焚化處理或應用於農業活動上，但傳統處理方式已不合時宜。為達到廢棄物資源化再利用之目的，本研究將石化廠之生物污泥經傳統熱解及微波熱解程序，分別收集不同熱解溫度下固、液及氣三態產物。後續以紅外線氣體分析儀分析主要氣態產物組成；以元素分析儀與感應耦合電漿原子放射光譜儀分別分析熱解殘餘物及氣體產物中主要元素及微量金屬元素。研究依衍生物組成特性，以冷凝方式將氣態衍生物精餾純化後可得生質燃料，分析其組成特性及熱值。另將熱解過後之固體殘餘物，經適當活化處理衍生成吸附劑，分析其物化特性，並將其應用於染料及廢氣控制。結果顯示固體殘餘物約佔脫水污泥重量的8.5~13%。液態產物方面約佔62~82%，元素組成碳、氫、氮和硫分別佔68~73%、10~11%、5.4~6%和0.3~0.4%，熱值約9,000~10,000 kcal/kg，故可作為生質燃料使用；氣態衍生物約5.8~30%，若將廢氣迴流至熱解系統可降低廢氣排量。另經活化衍生吸附劑後應用於廢氣及染料廢水控制上，於30°C時對氣態氯仿之吸附量為70~244 mg/g。而對染料廢水中Orange II之吸附量為97~197 mg/g。顯示此污泥吸附劑與商業化活性碳效能相近，依實驗結果顯示污泥經熱解再利用可衍生成為吸附劑，對污染物具吸附效能，且液態產物可經分餾出生質燃料，故再利用價值高。

關鍵字：生物污泥、熱解、吸附劑

英文摘要

Biological process is an important aspect of wastewater treatment, but sludge is an inevitable major byproduct, and its disposal can cause serious environmental problems. Therefore, sludge disposal is an important part of wastewater treatment. Landfilling, incineration, or agriculture applications are the methods typically used to dispose of biosludge. However, those methods are not the best treatment at all. In this study, pyrolysis was carried out in an isothermal reactor heated by a horizontal electric furnace and microwave furnace.

In addition, we collect biosludge pyrolysis residue, liquid and gas productions after pyrolytic in difference temperatures. Pyrolytic gases including CO, CO₂, SO₂ and NO_x of sludge pyrolysis was measured by an infrared gas analyzer. Total hydrocarbons were determined by a heated hydrocarbon analyzer. The compositions of the pyrolysis residue and pyrolytic gas were analyzed by element analyzer/ICP-AES/ICP-MS and GC/MS, respectively. The pyrolysis liquid was distilled to separate the oil from the liquid. The composition of the pyrolysis oil was measured by GC/MS. Sludge adsorbent was obtained from pyrolysis the biosludge which have been immersed in ZnCl₂, pyrolytic process, HCl and distilled water washing and drying. Then, sludge adsorbent was applied to dye (Orange II and Chrysophenine) and VOCs (Acetonitrile and Chloroform) adsorption.

Generally, the sludge cake contain about 8.5-13% solid residue and 62-82% liquid products after drying process. The composition of element in C, H, N, S were 68-73%, 10-11%, 5.4-6% and 0.3-0.4%, respectively. The heating value of the biofuel was 9,000-10,000 kcal/kg which was approach of diesel. The gas productions were containing 5.8-30%. The pyrolytic gas was rich in hydrocarbon; it could be recycled as a carrier gas during the pyrolysis process to reduce the exhaust volume. At 30°C, the chloroform and orange II adsorption capacity was 70-244 mg/g and 97-197 mg/g, respectively. The adsorption ability of the sludge adsorbent was approach commercial activated carbon. Therefore, the pyrolytic residues could be reused, the pyrolytic liquid product could be used as a fuel after distillation, and the pyrolytic gas could be recycled in the pyrolytic process to achieve non-toxic discharge and reduce the cost of sludge disposal.

Keywords: Biosludge, Pyrolysis, Adsorbent

目錄

摘要.....	I
英文摘要.....	II
圖目錄.....	IV
表目錄.....	IV
第 1 章 前言.....	1
第 2 章 研究方法.....	2
2-1 污泥來源及處理.....	2
2-2 熱解裝置.....	2
2-3 污泥及衍生物成份分析.....	4
2-4 污泥熱解衍生吸附劑.....	4
2-5 污泥吸附劑之物化特性分析及污染物控制.....	4
第 3 章 結果與討論.....	5
3-1 固體殘餘物組成成份.....	5
3-2 液態成份分析.....	7
3-3 氣態成份分析.....	8
3-4 生物污泥吸附劑之應用.....	9
第 4 章 結論.....	11
第 5 章 參考文獻.....	12
計畫成果自評.....	15

圖目錄

圖 2-1 污泥高溫爐熱解裝置示意圖	3
圖 2-2 污泥微波裂解裝置示意圖	3
圖 3-1 污泥高溫爐熱解之固體殘餘物主要元素成份 (n=5)	5
圖 3-2 污泥微波熱解之固體殘餘物主要元素成份 (n=5)	5
圖 3-3 污泥高溫爐熱解之固體殘餘物微量元素成份 (n=5)	6
圖 3-4 污泥微波熱解之固體殘餘物微量元素成份 (n=5)	7
圖 3-5 污泥熱解過程衍生液態產物主要元素成份 (n=5)	7
圖 3-6 污泥高溫爐熱解過程衍生氣態產物組成	8
圖 3-7 污泥微波熱解過程衍生氣態產物組成	8
圖 3-8 污泥高溫爐熱解之揮發性有機化合物組成比例	9
圖 3-9 污泥吸附劑於不同溫度下對廢氣之等溫吸附量	10
圖 3-10 污泥吸附劑於不同溫度下對染料廢水之等溫吸附量	10

表目錄

表 3-1 污泥吸附劑物化特性	9
-----------------------	---

第1章 前言

生物處理程序被廣泛應用於廢水處理中，然中間產生大量的污泥副產物。傳統的處置方式多以掩埋、焚化處理或應用於農業活動上。隨著台灣地狹人稠，民眾環保意識抬頭，傳統的處理方式已不適用。工業區廢水處理廠所產生之污泥，其組成多為微生物細胞，除水之外含有大量的有機成份(碳水化合物、脂質及蛋白質)。Conesa 等人(1998)發現污泥殘渣經熱解過後，可資源再生成吸附劑及鋪路骨材。Rozada 等人(2008)將污泥浸泡 $ZnCl_2$ 後經熱解研製為吸附劑，發現有浸泡過 $ZnCl_2$ 研製的吸附劑比未浸泡 $ZnCl_2$ 製成的吸附劑對重金屬之吸附效果較佳。Chen 等人(2006)將石化廠所產生的油污泥，以 $500^\circ C$ 熱解得到固液氣三態分別佔 10%、20%、30%，氣體主要為甲烷、乙烷、二氧化碳及氫氣等；而液態產物經 GC/MS 分析，結果發現其液體成份與柴油類似；另固體殘餘物方面，可作為鋪路或建築材料。Shen 等人(2005)在不同溫度 $300\sim 600^\circ C$ 行污泥熱解，發現氣體產量隨溫度增加而增加，焦炭量隨溫度下降而減少，且於 $525^\circ C$ 得到 30% 之最大液體產量，另經 GC/MS 定性分析後，顯示 $C_4\sim C_9$ 佔比例為 3%、 $C_{10}\sim C_{16}$ 約佔 17%、 C_{17} 以上約佔 80% 以上，顯示此液體產物以高碳數之重油為主。由相關之文獻顯示生物污泥可經由適當處理資源化再利用。

一般污泥燃燒時有大量之煙道氣及飛灰生成，煙道氣需大空間之處理設備及費用，此外底灰之處置費用亦增加污泥燃燒處理成本。故替代處理技術目標，即以減少煙道氣體積及飛灰生成量為主。Domínguez 等人(2005)應用微波熱解污泥產油，主要生成脂肪及含氧之化合物。Domínguez 等人(2006)比較傳統及微波於高溫熱解污泥，結果顯示微波方法較傳統方法有效率，且微波方法熱解污泥氣態產物中 CO 及 H_2 濃度高於傳統方法(Menendez et al., 2004; Domínguez et al., 2008)。Ahn 等人(2009)應用微波處理污泥結果顯示溶解性蛋白質、脂肪及鈣等物質含量將影響微波之效能。Park 等人(2010)指出微波輸出功率、溫度及固體物含量將影響污泥處理之效果。而 Annadurai 等人(2003)應用微波 800 W、1-4 分鐘，再以蒸氣活化生成之吸附劑對染料具吸附能力。

經由上述文獻研究顯示生物污泥可經由適當之處理方式再利用，熱解為一可行之技術，而熱解後之氣態及液態產物可經由冷凝及分餾衍生燃料，意降低廢氣處理之負荷，另熱解之固體物經由適當處理，可再利用為吸附劑。因此生物污泥經由適合之處理程序將其再利用，以其能達成污染零排放之最終目標。

第2章 研究方法

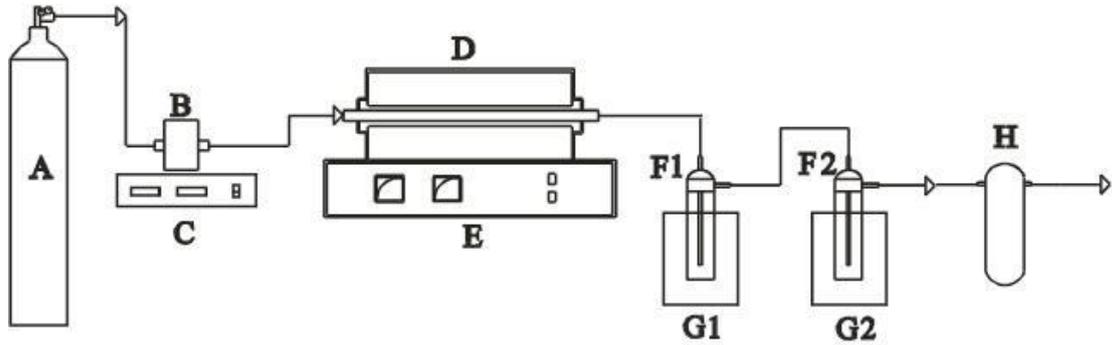
本研究擬以微波技術發展污泥脫水熱解及再應用之程序，建立熱解液態產物分餾系統，另將彙整過去傳統方法熱解累積操作條件參數資料、污泥熱解殘餘物經活化、洗滌後衍生吸附材料資料、液體產物經分餾產生燃料油、污泥熱解產氣循環系統及廢氣組成特性，探討模型廠污染防治設備，評估污泥熱解廢氣回收控制系統，研擬最適之熱解操作條件及污染防治設備。此外，並評析污泥熱解技術及衍生材料之產業應用。

2-1 污泥來源及處理

本研究所使用之污泥取自高雄石化廠廢水生物處理後之污泥，原始污泥組成中固體含量約佔10~15%，其中約有60~70%的揮發性固體。根據趙等人(2004)研究指出，當污泥脫水至含水率約為60%再行熱解反應，有較佳之液體產量。故於熱解前須將污泥經脫水處理至適當含水率，同時亦減少熱解時的熱能損失。過去傳統高溫爐方式污泥脫水所需之費用約為污泥化衍生吸附劑處理費之50% (Chiang et al., 2006)，根據本研究以微波熱解爐脫水程序(功率：0-900 W、時間：0-10 min、溫度：400-700 °C)可迅速將污泥脫水至衍生吸附劑所需之條件，約可將脫水費用降低約60%，僅為過去使用脫水程序費用之30%且大幅縮短脫水時間。

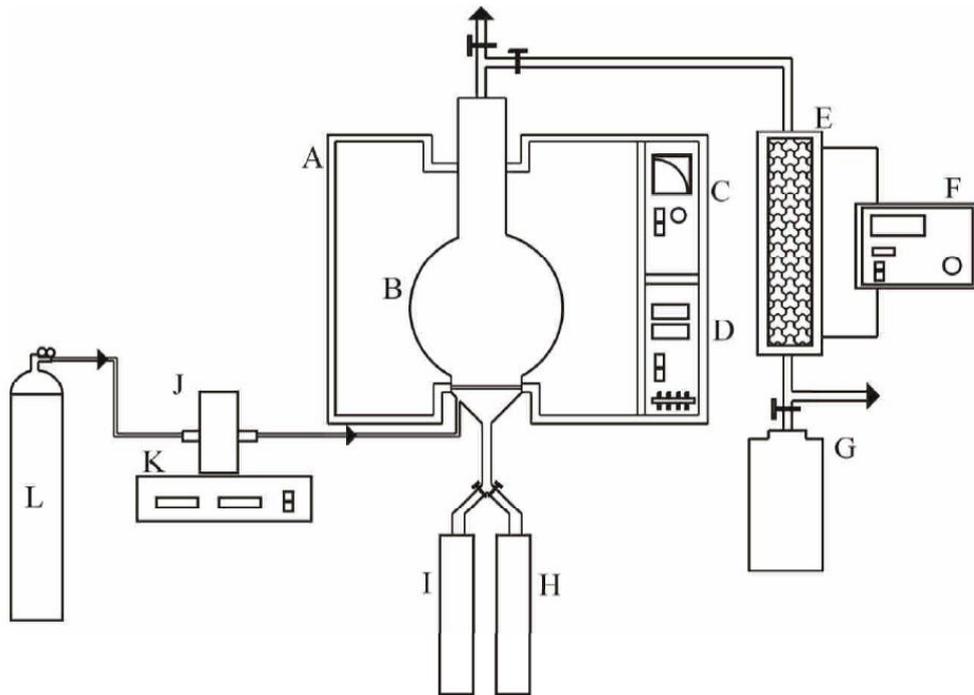
2-2 熱解裝置

污泥熱解裝置採橫式高溫爐熱解，取脫水過之污泥 40 g 置入石英管(直徑 5 cm，長 70 cm)中，升溫速度為每分鐘 15°C，熱解溫度範圍為 400~800°C，熱解時間 30 分鐘下進行處理(圖 2-1 為高溫爐熱解裝置示意圖)。為比較及開發更佳之熱解技術，故本研究另外微波熱解，熱解溫度範圍為 400~700°C(圖 2-2 為微波熱解裝置示意圖)。熱解過程於不同時間下採集氣態產物及液態產物，亦在熱解完成後收集殘餘石英管內之固體殘餘物。另為備製衍生污泥吸附劑，亦添加 ZnCl₂ 溶液，並將污泥吸附劑應用於氣體產物及染料廢水之污染物控制上。



A：氮氣 B：質量流量器 C：流量控制器 D：電解爐 E：溫度控制器
F1、F2：衝擊瓶(收集液體) G1、G2：冷卻槽 H：採樣袋(收集氣體)

圖 2-1 污泥高溫爐熱解裝置示意圖



A：微波反應爐 B：石英反應管 C：微波能量控制系統 D：溫度控制系統 E：冷凝裝置 F：冷凝溫度控制器
G、H：液體收集器 I：水份收集器 J：質量流量器 K：流量控制器 L：氮氣

圖 2-2 污泥微波裂解裝置示意圖

- (1) 固體殘餘物收集：污泥經過高溫熱解後，於高溫爐裡的石英管及微波熱解系統內取出固體殘餘物。
- (2) 氣態衍生物收集：熱解過程連接氣體採集裝置，將揮發性氣體收集至氣體採樣袋。
- (3) 液態衍生物收集：將熱解排出之氣體經衝擊瓶冷凝收集而成。

2-3 污泥及衍生物成份分析

石化污泥基本特性分析，其涵蓋固、液及氣態三項定性分析，含主要元素分析、微量元素分析以及揮發性有機化合物等。

- (1) 固體殘餘物分析：以元素分析儀(Elemental Analyzer, EA)進行主要元素分析，而得 C、H、N、S 及 Cl 的百分比重；微量元素分析則以感應耦合電漿原子放射光譜儀(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES)進行金屬殘餘定量分析。
- (2) 氣態衍生產物分析：以紅外線氣體分析儀(Infrared Gas Analyzer)分析 CO、CO₂、SO₂ 及 NO_x 之含量；另以 Heated Total Hydrocarbon Analyzer 分析氣體中的總碳氫化合物成份。
- (3) 液態衍生產物分析：將所收集液態產物去除大部份之水分後，取出濃稠狀之焦油液體，於 250~450°C 進行分餾，並進行 GC/MS 分析；另進行元素分析(EA)；並以熱卡計針對衍生之生質燃油作熱值測定。

2-4 污泥熱解衍生吸附劑

污泥衍生吸附劑乃參酌文獻方法研製而成，主要將經脫水處理過的污泥，浸泡 ZnCl₂ 溶液後待烘乾，完成後便置入高溫爐熱解。再將熱解過之污泥殘餘物以 HCl 溶液中浸泡，去除 ZnCl₂。濾乾後並以去離子水清洗至洗滌過後的水導電度與乾淨的去離子水相近，便可將其放進烘箱烘乾則完成吸附劑之製程。

2-5 污泥吸附劑之物化特性分析及污染物控制

將所衍生之污泥吸附劑於孔隙分析儀(ASAP 2010 Micropore Analyzer)以 N₂(77 K)進行孔隙特性分析，其比表面積及孔隙體積分別經 BET (Brubauer et al., 1938)跟 BJH (Barrett et al., 1951)方法計算而得，另微孔體積則經 *t*-plot (Lippens et al., 1965)及 Harkins-Jura (Harkins et al., 1944)方法推算；以 Boehm's titration 方法分析得表面官能基(Boehm, 1966)；並根據 ASTM D2866-94 與 ASTM D3838-80 方法分析，分別得到吸附劑之灰分及 pH 值。

污泥吸附劑主要將其應用於揮發性有機化合物(VOCs)及染料(Dye)吸附試驗。VOCs 部分挑選氰甲烷(Acetonitrile)及氯仿(Chloroform)，氣體濃度分別 43~2700 ppm 及 90~7800 ppm，於 10~60°C 下行等溫吸附；染料則選用含氮染料 Orange II 及 Chrysophenine(CH)兩種，染料濃度皆為 30~80 mg/l，吸附溫度為 10~60°C。

第3章 結果與討論

3-1 固體殘餘物組成成份

高溫爐熱解固體殘餘物之主要元素分析方面結果如圖3-1所示，溫度105°C即為脫水後之污泥，溫度400~800°C則分別收集各溫度下熱解後之固體殘餘物。其碳含量15~28%、氫0.8~4.5%、氮1.7~4.2%及硫1.8~3.6%（因氧含量<0.01%，故未標示於圖中）。另圖3-2為微波熱解之污泥殘餘物其碳含量20~35%、氫1.5~5.2%、氮1.3~5.2%、硫2.3~4.5%。其中碳、氫及氮之含量隨熱解溫度增加呈遞減趨勢，推測乃因碳、氫及氮於高溫下會從殘餘物中脫附。惟硫含量隨熱解溫度增加而含量百分比亦增加，乃歸因於硫成份與其它元素相比較不易自固體殘餘物中揮發出來(Kuramochi et al., 2005)。

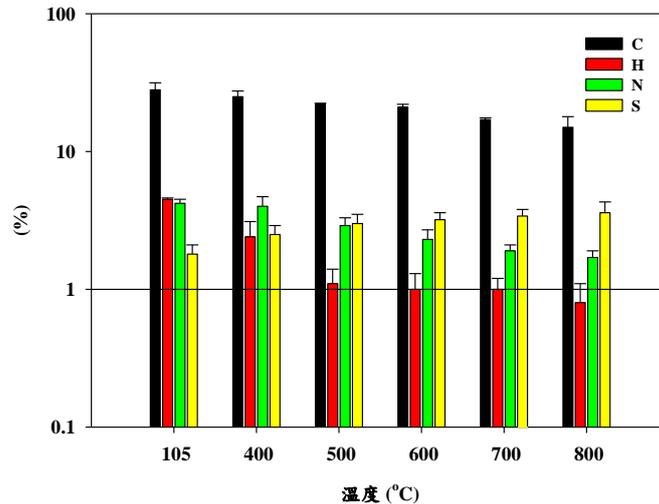


圖 3-1 污泥高溫爐熱解之固體殘餘物主要元素成份 (n=5)

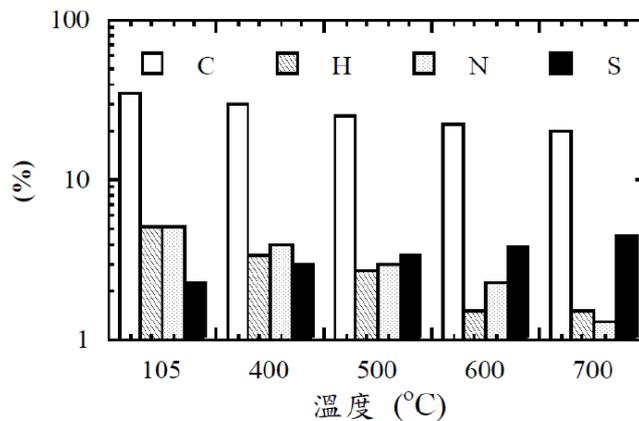


圖 3-2 污泥微波熱解之固體殘餘物主要元素成份 (n=5)

固體殘餘物之微量元素結果如圖3-3所示，顯示不論於脫水過後之污泥或經高溫熱解後之污泥，其鈣、鋁、鐵、鎂及鋅之含量皆較高。當中鋅、鎳及鉻含量與Dai 等人(2007)研究結果相仿，但本研究銅、鉛、鎘較低；砷含量卻較高。另有毒微量元素中濃度分別為鎘：0.2~0.8 $\mu\text{g/g}$ 、硒：0.8~9.6 $\mu\text{g/g}$ 、鉻：24~68 $\mu\text{g/g}$ 、鉛：4.4~17 $\mu\text{g/g}$ 、砷：41~135 $\mu\text{g/g}$ 及銅：49~73 $\mu\text{g/g}$ 。其中砷與鉻濃度含量與Rauckyte等人(2006)研究結果類似，惟鎘與鉛之含量較低。另錳、鎳、硫、錳及鋇之濃度隨高溫熱解而濃縮，而鎘經高溫熱解($>600^{\circ}\text{C}$)後反而會因揮發而濃度降低(Nerin et al., 1999)。而圖3-4為微波熱解固體殘餘物之微量元素分析結果，顯示經微波脫水、熱解後之污泥，其鈣(約100 mg/g)、鋁與鎂含量分別約10 mg/g 、鐵及鋅含量分別約5 mg/g 之皆較高。鋅、鎳、鉻、銅、鉛、鎘及砷之含量則約在0.2~100 $\mu\text{g/g}$ 之間。

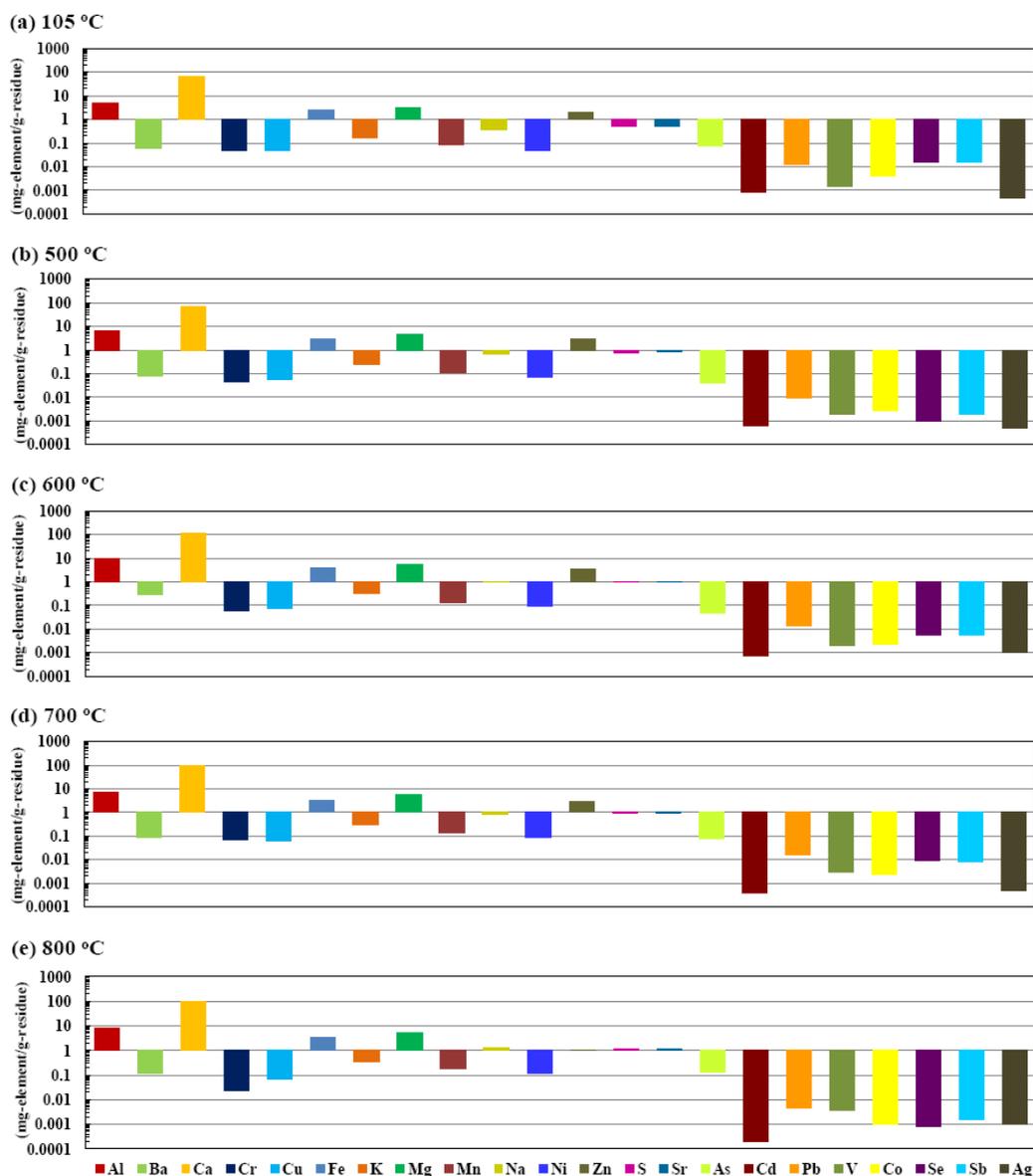


圖 3-3 污泥高溫爐熱解之固體殘餘物微量元素成份 (n=5)

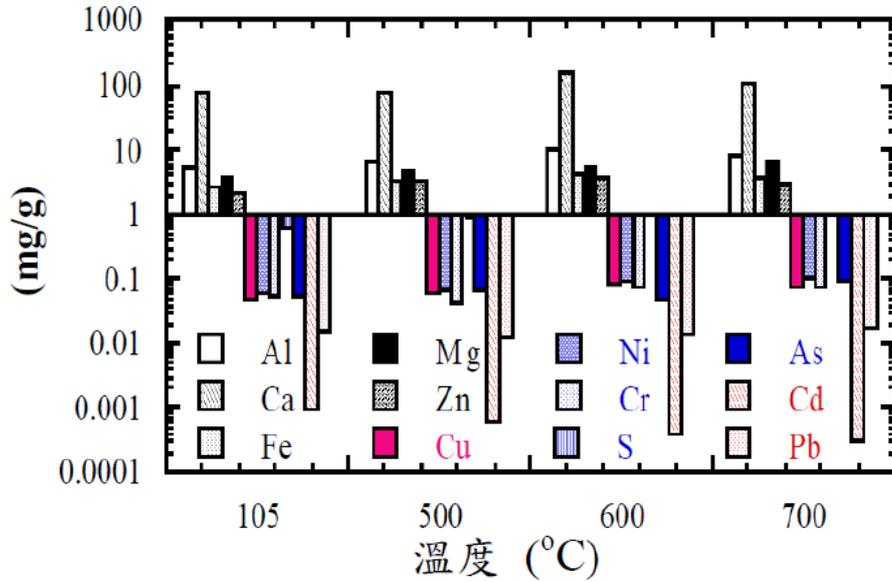


圖 3-4 污泥微波熱解之固體殘餘物微量元素成份 (n=5)

3-2 液態成份分析

污泥於 105°C 脫水行前處理階段時，約有 65~70% 的水分及揮發性物質揮發，另於 500~800°C 熱解過程中，亦會減少 8.5~13% 之重量，其中約 62~81% 為液態產物，主要為水及生質油；約有 5.8~30% 為氣態產物。而 500~800°C 熱解後液態產物元素成份如圖 3-5 所示，結果可得碳約佔 68~73%、氫佔 10~11%、氮佔 5.4~6% 及 0.3~0.4% 的硫。而研究所得熱值範圍約 8,600~10,100 kcal/kg，約略低於燃料油熱值，但可經純化後作為燃料。

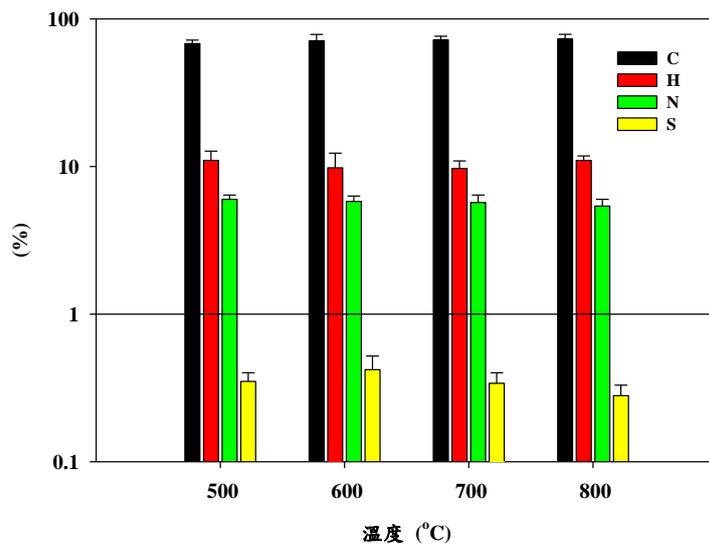


圖 3-5 污泥熱解過程衍生液態產物主要元素成份 (n=5)

3-3 氣態成份分析

將污泥熱解過程之氣態衍生物進行成份分析。圖3-6為高溫爐熱解結果，顯示當溫度為105°C時，其熱解時排出的氣體量相對較低，當溫度提昇至500°C後，其濃度亦隨之增加，溫度於700°C時達濃度最高點，其總碳氫化合物(Total hydrocarbon, THC)佔1.2%、CO₂佔1.7%、SO₂佔13 ppm及NO_x佔35ppm。而CO₂濃度於105°C時僅<0.002%，但於300~800°C時增加至0.32~1.7%。Dave等人(2002)研究指出污泥經熱解過後，所衍生之氣體特性具當作燃料之潛能，如此便能減少廢氣之排放，亦可減低污染控制成本。或將廢氣迴流，作為熱解所需之循環氣體，以降低廢氣之排放量。圖3-7則為微波熱解之氣態污染物，氣態污染物於400°C以上時將大量產出，主要以CO及THC為主。

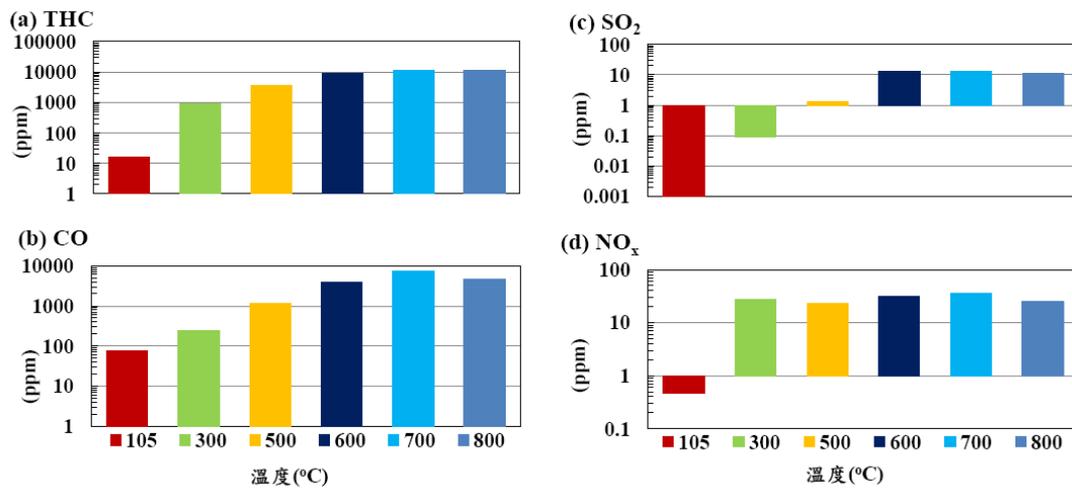


圖 3-6 污泥高溫爐熱解過程衍生氣態產物組成

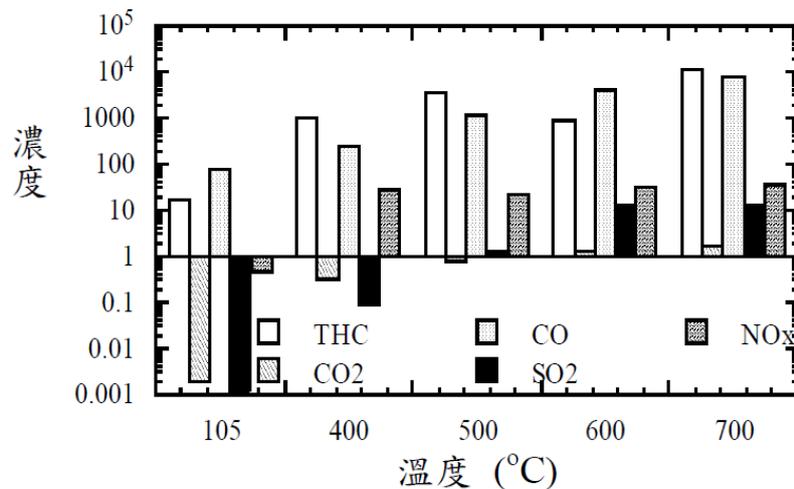


圖 3-7 污泥微波熱解過程衍生氣態產物組成
(CO₂ 濃度%、其餘污染物濃度為 ppm)

圖3-8為溫度於高溫爐熱解下熱解過程衍生之揮發性有機物質組成比例，結果顯示烯烴類(Olefins)、烷烴類(Paraffins)及芳香烴類(Aromatics)分別各佔37~58%、21~40%及16~26%。另顯示Olefins為污泥熱解過程主要衍生的揮發性有機化合物種類，推測係為原料取自石化工廠之生物污泥所致。

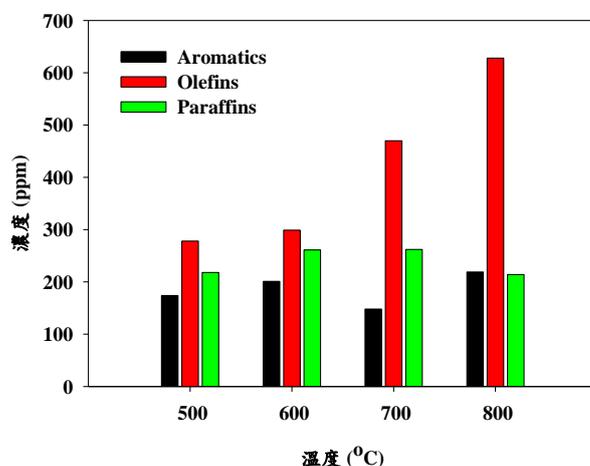


圖 3-8 污泥高溫爐熱解之揮發性有機化合物組成比例

3-4 生物污泥吸附劑之應用

高溫爐熱解污泥衍生吸附劑之孔隙特性及表面官能基等分析結果如表3-1所示。顯示污泥吸附劑之表面積及孔隙特性以與市售活性炭相似(Chiang et al., 2009)。BET比表面積約740 m²/g，且污泥吸附劑平均孔隙直徑24.5 Å，因此經ZnCl₂含浸之生物污泥熱解後可產生中孔隙吸附劑。另微波加熱速度快脫水容易，但脫水速度太快亦可能造成後續衍生之吸附劑孔隙太大，目前微波方式產生之吸附劑比表面積約為550 m²/g、孔徑約為35 Å(因污泥之微生物細胞結構快速破壞)，且比表面積降低。孔隙較大之吸附劑後續可能不利應用於空氣污染物吸附處理，故微波應用之操作參數有進一步探討之必要性。

表 3-1 污泥吸附劑物化特性

孔隙特性分析		表面官能基 (meq/100 m ²)	
BET 表面積(m ² /g)	740	Carbonyl	-
孔隙體積 (cm ³ /g)	0.449	Phenolic	24
微孔面積 (m ² /g)	455	Lactone	20
微孔體積 (cm ³ /g)	0.21	Carboxyl	46
孔隙直徑 (Å)	24.5	Basic	84
灰份 (%)	11	pH 值	5.6

高溫爐熱解衍生污泥吸附劑應用廢氣污染物控制應用結果如圖 3-9，顯示 Acetonitrile 於 10°C 時吸附量 60~92 mg/g、30°C 時 15~41 mg/g、50°C 時 8~20 mg/g，而於 80°C 時 0~18 mg/g；另 Chloroform 於 30°C 時吸附量 70~244 mg/g、60°C 時 22~126 mg/g，而於 80°C 時 12~93 mg/g，顯示氣態污染物 Acetonitrile 及 Chloroform 於高溫時吸附量皆會減少，而於高溫下 Acetonitrile 之吸附量極低。

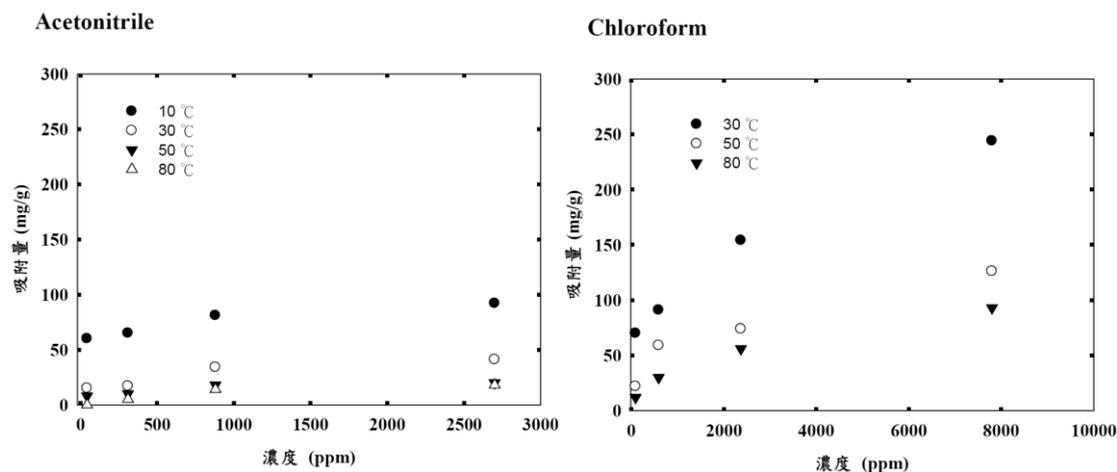


圖 3-9 污泥吸附劑於不同溫度下對廢氣之等溫吸附量

另染料廢水吸附試驗結果指出(如圖 3-10 所示)，Orange II 於 10、30 及 60 °C 吸附量依序為 83~162、97~197 及 103~270 mg/g；而 Chrysophenine 吸附量於 10、30 及 60 °C 則依序為 39~87、81~131 及 99~191 mg/g。其結果恰與氣態污染物相反，染料廢水吸附反而在溫度較高之情況下效果較佳；污泥吸附劑於染料廢水吸附量則隨溫度增加而增加，可能由於此吸附現象受孔隙擴散影響所致 (Namasivayam and Kavitha, 2002; Guo et al., 2003)。另亦有可能因染料吸附置換出較多之物質，造成隨溫度增加而吸附量增加之現象。

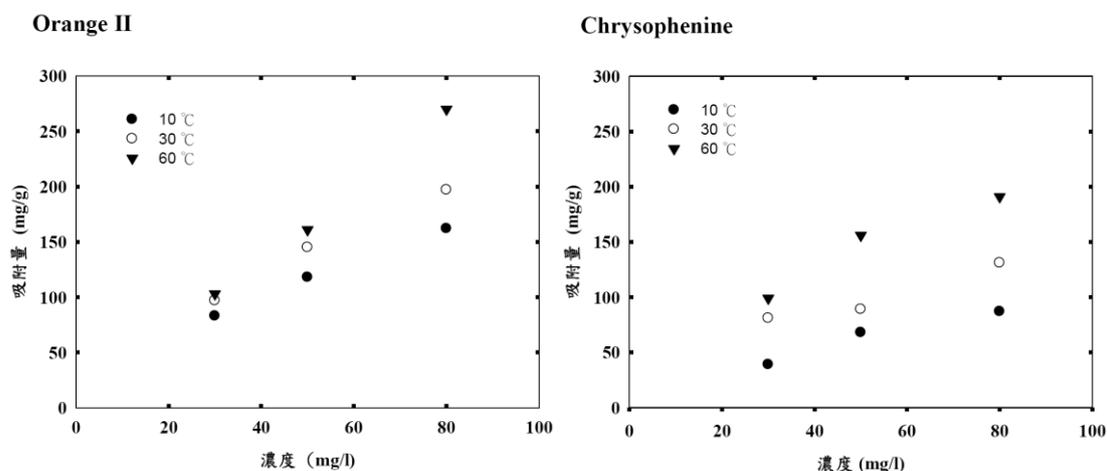


圖 3-10 污泥吸附劑於不同溫度下對染料廢水之等溫吸附量

第4章 結論

1. 石化廠生物污泥含水率約 75~80%，經烘箱或微波脫水並熱解後，約產生 8.5~13%的固體殘餘物；約 62~82%的液態衍生物；其餘氣態污染物約佔 5.8~30%。當中微波脫水速度較快且所需成本較低。
2. 高溫爐熱解過後固體殘餘物之主要元素經 EA 分析，得主要元素為碳：15~28%、氫：0.8~4.5%、氮：1.7~4.2%和硫：1.8~3.6%。而微波熱解污泥殘餘物之主要元素碳：20~35%、氫：1.5~5.2%、氮：1.3~5.2%和硫：2.3~4.5%。另兩種熱解方法之殘餘物以 ICP/AES 分析微量金屬元素，結果皆以鈣、鋁、鐵、鎂和鋅為主。
3. 高溫爐熱解之液態污染物經冷凝收集並分餾後，發現成份含量碳佔 68~73%、氫佔 10~11%、氮佔 5.4~6%和硫則佔 0.3~0.4%。且熱值大致介於 9,000~10,000 kcal/kg 之間，經純化後可作為生質燃料。
4. 高溫爐熱解衍生之污泥吸附劑應用結果顯示，吸附廢氣 Acetonitrile 可於 10°C 得最大吸附量 60~92 mg/g，而 Chloroform 則於 30°C 時吸附量達 70~244 mg/g；另染料吸附結果皆於 60°C 達最大量，Orange II 及 Chrysophenine 吸附量分別為 103~270 及 99~191 mg/g。
5. 污泥熱解過程所排放之氣態污染物組成以碳氫化合物為主，若將其收集並分餾後，可作為燃料使用。另固體殘餘物經活化後衍生吸附劑，並應用於污染物控制上且成效亦佳。故生物污泥資源再生效果佳，實有再利用價值。

第5章 參考文獻

- Ahn, J.W., S.G. Shin, and S. Hwang, "Effect of Microwave Irradiation on the Disintegration and Acidogenesis of Municipal Secondary Sludge", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 153, pp. 145-150 (2009).
- Annadurai, G., R.S. Juang, P.S. Yen, and D.J. Lee, "Use of Thermally Treated Waste Biological Sludge as Dye Adsorbent", *Advances in Environmental Research*, Vol. 7, pp. 739-744 (2003).
- Barrett, E.P., L.S. Joyner, and P.P. Halenda, "The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherm", *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 73, pp. 373-380 (1951).
- Boehm, H.P., "Chemical Identification of Surface Groups. In: Eley DD, Pines H, Weisz PB, editors. *Advances in Catalysis*. New York : Academic Press", Vol. 16, pp. 179 (1966).
- Brubauer, S., H.P. Emmett, and E. Teller, "Adsorption of Gas in Multimolecular Layers", *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 60, pp. 209-319 (1938).
- Chen, C., S. Li, C. Yue, T. Kruttschnitt, E. Pruckner, and Q. Yao, "Lab-scale Pyrolysis of Oil Sludge in Continuous Rotating Reactor : Mass/Energy Balance and Product Analysis", *Journal of Chemical Industry and Engineering*, Vol. 57, pp. 650-657 (2006).
- Chiang, H.L., K.H. Lin, C.S. Hwu, C.Y. Chen, C.G. Chao, and N. Lai, "Adsorption Characteristics of Benzene on Biosolid Adsorbent and Commercial Activated Carbons", *Air Waste Management Association*, Vol. 56, pp. 591-600 (2006).
- Chiang, H.M., T.C. Chen, S.D. Pan, and H.L. Chiang, "Adsorption Characteristics of Orange II and Chrysophenine on Sludge Adsorbent and Activated Carbon Fibers", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 161, pp. 1384-1390 (2009).
- Conesa, J.A., A. Marcilla, R. Moral, J. Moreno-Caselles, and A. Perez-Espinosa, "Evolution of Gases in the Primary Pyrolysis of Different Sewage Sludges", *Thermochimica Acta*, Vol. 313, pp. 63-73 (1998).
- Dai, J., M. Xu, J. Chen, X. Yang, and Z. Ke, "PCDD/F, PAH and Heavy Metals in the Sewage Sludge from Six Wastewater Treatment Plants in Beijing, China", *Chemosphere*, Vol. 66, pp. 353-361 (2007).
- Dave, N., and G. Duffy, "Technologies for Mitigation of GHG Emissions from Coal Industry", *QCAT Technology Transfer Centre*, Australia (2002).
- Domínguez, A., J.A. Menendez, M. Inganzo, and J.J. Pis, "Investigations into the Characteristics of Oils Produced from Microwave Pyrolysis of Sewage Sludge", *Fuel Processing Technology*, Vol. 86, pp. 1007-1020 (2005).

- Domínguez, A., J.A. Menendez, M. Inguanzo, and J.J. Pis, "Production of Bio-fuels by High Temperature Pyrolysis of Sewage Sludge Using Conventional and Microwave Heating", *Bioresource Technology*, Vol. 97, pp. 1185-1193 (2006).
- Domínguez, A., Y. Fernández, B. Fidalgo, J.J. Pis, and J.A. Menendez, "Bio-syngas Production with Low Concentrations of CO₂ and CH₄ from Microwave-induced Pyrolysis of Wet and Dried Sewage Sludge", *Chemosphere*, Vol. 70, pp. 397-403 (2008).
- Guo, Y., S. Yang, W. Fu, J. Qi, R. Li, Z. Wang, and H. Xu, "Adsorption of Malachite Green on Micro- and Mesoporous Rice Husk-based Active Carbon", *Dyes Pigments*, Vol. 56, pp. 219-229 (2003).
- Harkins, W.D., and G. Jura, "Surfaces of Solids XIII: A Vapor Adsorption Method for the Determination of the Area of a Solid Without the Assumption of a Molecular Area and the Areas Occupied by Nitrogen and other Molecules on the Surface of a Solid", Vol. 66, pp. 1366-1377 (1944).
- Kuramochi, H., W. Wu, and K. Kawamoto, "Prediction of the Behaviors of H₂S and HCl During Gasification of Selected Residual Biomass Fuels by Equilibrium Calculation", *Fuel*, Vol. 84, pp. 377-387 (2005).
- Lippens, B.C., and J.H. de Boer, "Studies on Pore System in Catalysts. V. The *t* method", *Journal of Catalysis*, Vol. 4, pp. 319-323 (1965).
- Menendez, J.A., A. Domínguez, M. Inguanzo, and J.J. Pis, "Microwave Pyrolysis of Sewage Sludge: Analysis of the Gas Fraction", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 71, pp. 657-667 (2004).
- Namasivayam, C., and D. Kavitha, "Removal of Congo Red from Water by Adsorption onto Activated Carbon Prepared from Coir Pitch, an Agricultural Solid Waste", *Dyes Pigments*, Vol. 54, pp. 47-58 (2002).
- Nerin, C., C. Domeño, J.I. Garcia, and A. del Alamo, "Distribution of Pb, V, Cr, Ni, Cd, and Fe in Particles Formed From the Combustion of Waste Oils", *Chemosphere*, Vol. 38, pp. 1533-1540 (1999).
- Park, W.J., J.H. Ahn, S. Hwang, and C.K. Lee, "Effect of Output Power, Target Temperature, and Solid Concentration on the Solubilization of Waste Activated Sludge Using Microwave Irradiation", *Bioresource Technology*, Vol. 101, S13-S16 (2010).
- Rauckyte, T., D.J. Hargreaves, and Z. Pawlak, "Determination of Heavy Metals and Volatile Aromatic Compounds in Used Engine Oils and Sludge", *Fuel*, Vol. 85, pp. 481-485 (2006).
- Rozada, F., M. Otero, A. Morán, and A.I. García, "Adsorption of Heavy Metals onto Sewage Sludge-derived Materials", *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 6332-6338 (2008).

Shen, L., and D-k. Zhang, “Low-temperature Pyrolysis of Sewage Sludge and Putrescible Garbage for Fuel Oil Production”, *Fuel*, Vol. 84, pp. 809-815 (2005).

趙慶光、江鴻龍、胡辰昌、謝志鴻，“生物有機污泥熱解研製燃料及吸附材料特性分析”，輔英科技大學環境工程衛生系，國科會研究計畫，2004。

計畫成果自評

本研究係藉由過去幾年之污泥相關研究與本計畫結合，以開發污泥傳統熱解及微波熱解再利用之技術。期能藉由資源再生衍生出具應用價值之吸附劑或生質能源。結果得生物污泥熱解過後可再生成污泥吸附劑，其吸附效果逼近市售商用碳材，可應用於有機廢氣及染料廢水之污染控制。另衍生之氣態污染物經適度冷凝可得成份類似柴油的生質能源。顯示若可將污泥妥善應用實有資源再利用之價值。研究成果發表於Journal of the Air & Waste Management Association、Dyes and Pigments及Journal of Hazardous Materials等期刊。亦將研究成果加以彙整，除於99年11月參與第二十二屆環境工程學會研討會發表「石化污泥熱解特性及衍生吸附劑應用之研究」外，亦於98年7月30-8月1日赴韓國仁川參加2009奈米材料應用研討會發表論文「Adsorption application of biosolid adsorbent for air and wastewater pollution」及99年9月14-18日赴義大利里米尼參加14th International Biotechnology Symposium and Exhibition研討會發表論文「Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process」。顯示本計畫之執行有相當之具體成果，若可再將研究方法改良及放大實際應用尺度相信可開發出對環境更友善之污泥再生技術，更能將相關技術應用於產業界。

2010 第 14 屆國際生物科技研討會暨展覽
(14th International Biotechnology Symposium and Exhibition)

報告人：江鴻龍

單位：中國醫藥大學健康風險管理學系

壹、心得報告

一、參加會議經過：

於月9月13日自桃園中正機場搭機赴義大利里米尼參加國際生物技術研討會。於13日晚上抵里米尼，14日赴 International Biotechnology Symposium and Exhibition 研討會會場。辦理報到註冊手續、領取研討會相關資料。由 International Society for Environmental Biotechnology (ISEB)、International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) 及 Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) 等重要單位支持籌辦之國際研討會，主要議題為生物技術於人類社會永續發展之應用。

研討會中發表論文「熱解程序再利用生物固體物作為吸附劑特性研究(Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process)」。

二、與會心得

此屆為第十四屆，本人為第一次參加，因本屆研討會議題與都會區廢棄物處理有關，利如廢水廠生物污泥再利用，藉由此研討會瞭解歐陸對污泥再利用之作法及相關之生物技術，以發展省能源、低污染之環境友善再利用技術。此外亦對未來研究發展拓展國際合作之機會。而研討會中主要參與單元皆為目前研究計畫，藉此學習及構思未來研究發展領域之機會。

此研討會主要之內容為

- 環境生物技術 (Environmental biotechnology)
- 醫療和醫藥生物技術 (Medical and pharmaceutical biotechnology)
- 植物和森林生物技術 (Plant and forest biotechnology)
- 食品生物技術 (Food biotechnology)
- 系統生物學之生物技術創新 (Systems biology for biotechnological innovation)

- 生物技術應用於生物能源 (Biotechnology for bioenergy)
- 工業生物技術 (Industrial biotechnology)
- 化學發展生物技術之經濟貢獻 (Contribution of chemistry to develop a biotechnology based economy)
- 動物生物技術 (Animal biotechnology)

為期五天的研討會包括330個口頭發表及1,100篇海報發表，合計有1,500 篇論文發表在Journal of Biotechnology。各單元文章發表，可感受到此研討會所具有之廣度及深度；由學校及研究單位所發表文章，其內容及成果具有開創性及延續性；而工程或技術顧問公司、產業界論文，除說明其先進之工程技術外，亦展現其研發部門能力或與學術研究單位合作之成果，極具參考價值，未來國內業界、研究單位及學校應整合部份資源，從事相關之研究調查工作，結合產官學研資源以豐碩成果。

摘要收錄於 Journal of Biotechnology 期刊。(LX Zeng, HL Chiang., Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process, Journal of Biotechnology 2010;150(S1):228-229.)

三、建議

1. 跨領域、團隊合作、整合研究資源似乎為目前拓展國際學術領域較可行方法之一，學校目前已朝此方向整合，應可更積極進行，提昇研究水準。
2. 學術研究單位之研究能力雖較過去較提昇，但若與企業合作將更能豐碩其研發成果。而台灣目前學術單位目前研究經費普遍不足，與產業界合作可持續培育更多之研究人才，亦藉由產業之實務經驗，增進實廠應用之價值。而如何將學術單位之基礎研究與產業應用結合，創造利機應為未來產學合作之重要基礎。因此在基礎研究之時，應設計思索未來研發成果之應用性。
3. 業界之研發實力及研究成果之應用應被重視，國內相關之研討會應可多邀請產業研發成果之參與瞭解產業之需求。學術研究單位應更積極與跨國企業合作尋求建立國際研究團隊之契機。

四、攜回資料名稱及內容

1. 第 14 屆國際生物科技研討會暨展覽議程資料及會議發表論文摘要一冊。
2. 研討會筆記資料。

貳、 論文被接受發表之大會證明文件

----- Original Message ----- From: <marie-claire@encompassevents.co.uk>
To: <hlchiang@mail.cmu.edu.tw>
Sent: Wednesday, April 21, 2010 12:05 AM
Subject: Abstract Accepted for the 14th IBS

Dear colleague,

on behalf of the board of Chairs and Co-Chairs for the Scientific Sessions of the 14th International Biotechnology Symposium and Exhibition, I am very pleased to inform you that your abstract entitled "Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process", reference number 0618 has been accepted for presentation at the conference and for publication in a special supplement of the Journal of Biotechnology.

Please note that in order for your abstract to be included in the programme you will need to register to attend the conference, only registered attendees will have their abstract published by Elsevier.

In the first week of May you will be informed on the type of presentation assigned (oral or poster communication) and the Scientific Session in which it will be included.

Should you have any queries, please do not hesitate to contact the Organising Secretariat (Chiara Angelucci, c.angelucci@adriacongrex.it, [+39 0541 305896](tel:+390541305896)).

With best wishes,
Marie-Claire Morley
Abstract Administrator for IBTS 2010

email: marie-claire@encompassevents.co.uk
Tel: [+44 7903 406176](tel:+447903406176)

Powered by Oxford Abstracts
Affordable abstract and paper management

<http://www.oxfordabstracts.com>

----- Original Message -----

From: [Marie-Claire Morley](mailto:Marie-Claire.Morley)

To: hlchiang@mail.cmu.edu.tw

Sent: Sunday, May 16, 2010 3:32 AM

Subject: 14th IBS 2010 - Abstract notification for Session 9 POSTER presentation

14th International Biotechnology Symposium and Exhibition

Rimini, 14-18 September 2010

Dear Dr. Chiang

on behalf of the board of Chairs and Co-Chairs of the Scientific Sessions of the 14th International Biotechnology Symposium and Exhibition, I am very pleased to inform you that your abstract number 618 entitled '**Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process**' has been accepted for a POSTER presentation in Scientific Session 9: Environmental Biotechnology

Poster presentations can also be considered for Full Papers publication on peer-reviewed Scientific Journals edited by Elsevier. The Scientific Committee will select abstracts during the Symposium.

Registration to the 14th IBS is compulsory by May 31st to be included in the conference programme and have your abstract published in the Journal of Biotechnology edited by Elsevier.

Posters guidelines will be available on the conference website by the end of May.

Should you have any queries, please do not hesitate to contact the Organizing Secretariat (Luca Silvestri, L.silvestri@adriacongrex.it, +39 0541 305896).

Thank you for your kind attention and cooperation

Best wishes

Marie-Claire Morley

IBS Abstract Administrator

參、發表之論文摘要

Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process

Li-Xuan Zeng, Hung-Lung Chiang

Biosolid was taken from the petrochemical industry and it was pyrolyzed to investigate the composition and pore size distribution of pyrolytic residue. The residues component included the carbon, nitrogen, and hydrogen concentrations could be reduced after an increase in pyrolytic temperature. The pre-dried biosolid were pyrolyzed at various pyrolytic temperatures, the fraction of products in the gas phase, liquid phase, and solid residue were 20-38, 45-72, and 9-15%, respectively. In addition, $ZnCl_2$ was used as a bio-solid activation agent and the $ZnCl_2$ could enhance the pore structure development during the pyrolytic process. Results indicated the proper $ZnCl_2$ immersed concentration, pyrolytic temperature and time could produce adsorbents from the biosolid. Pore size distribution examination indicated that the mesopore was domain in the pyrolyzed residues and the specific surface area could be up to $750 \text{ m}^2/\text{g}$.

Keywords: biosolid; pyrolysis; adsorbent

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/10/24

國科會補助計畫	計畫名稱: 開發環境友善之生物污泥再利用及污染控制技術
	計畫主持人: 江鴻龍
	計畫編號: 99-2221-E-039-009- 學門領域: 環境工程
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：江鴻龍		計畫編號：99-2221-E-039-009-					
計畫名稱：開發環境友善之生物污泥再利用及污染控制技術							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	3	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究係藉由過去幾年之污泥相關研究與本計畫結合，以開發污泥傳統熱解及微波熱解再利用之技術。期能藉由資源再生衍生出具應用價值之吸附劑或生質能源。結果得生物污泥熱解過後可再生成污泥吸附劑，其吸附效果逼近市售商用碳材，可應用於有機廢氣及染料廢水之污染控制。另衍生之氣態污染物經適度冷凝可得成份類似柴油的生質能源。顯示若可將污泥妥善應用實有資源再利用之價值。研究成果發表於 Journal of the Air & Waste Management Association、Dyes and Pigments 及 Journal of Hazardous Materials 等期刊。亦將研究成果加以彙整，除於 99 年 11 月參與第二十二屆環境工程學會研討會發表「石化污泥熱解特性及衍生吸附劑應用之研究」外，亦於 98 年 7 月 30-8 月 1 日赴韓國仁川參加 2009 奈米材料應用研討會發表論文「Adsorption application of biosolid adsorbent for air and wastewater pollution」及 99 年 9 月 14-18 日赴義大利里米尼參加 14th International Biotechnology Symposium and Exhibition 研討會發表論文「Reuse of biosolid as adsorbents by the pyrolysis process」。顯示本計畫之執行有相當之具體成果，若可再將研究方法改良及放大實際應用尺度相信可開發出對環境更友善之污泥再生技術，更能將相關技術應用於產業界。